

5885

电子工业工人技术等级培训教材  
●(电子元件专业)

# 元件测量与仪表

●陆希明 主 编  
●李德兴 主 审

N0053476-2

TM93



电子工业出版社

电子行业技术工人培训教材

# 电子元件测量与仪表

陆希明 主编 李德兴 主审

电子工业出版社

**(京) 新登字055号**

**电子行业技术工人培训教材**

**电子元件测量与仪表**

**陆希明 主编 李德兴 主审**

**责任编辑：刘文杰**

\*

**北京市海淀区万寿路173信箱 (100036)**  
**电子工业出版社发行 各地新华书店经销**  
**北京市燕山联营印刷厂印刷**

\*

**开本：787×1092毫米1/32 印张：9.25 字数：214千字**

**1995年2月第一版 1995年2月北京第一次印刷**

**印数：3000册 定价：11.00元**

**ISBN 7-5053-2601-0/TN·791**

## 前 言

本教材系按《电子行业工人技术等级标准》电阻器、电位器专业和《电子元件测量与仪表》初、中、高级工教学大纲编写的，由电子行业技术工人培训教材编审委员会电子元件专业编审组征稿并推荐出版。编委会副主任委员、编审组组长为陈耀祖，责任编委为晁继良。

本教材由国营八九三厂陆希明担任主编，国营八九三厂李德兴担任主审。

本教材的参考学时为100学时。其主要内容为：电子测量与仪表概述，测量误差的分类及原因，万用表、电阻器、电位器、真空、温度、敏感元件的测量与仪表及电子元件测量新技术简介等。

本教材的主要特点是：原理叙述通俗易懂，并有一定的深度和广度；结合电阻器、电位器、敏感元件的生产实际，对所需测量的参数和主要方法及所使用的仪表进行编写，具有较强的实用性和可操作性。使用本教材时应注意按电阻器、电位器专业的范围，结合所从事工种的初、中、高级工的标准要求选择内容并与本专业的《电阻器与电位器》、《电子元件材料》等系列教材配套进行培训。本教材也适合于本专业技工学校和职业学校，亦可作为从事这方面工作的工程技术人员、管理人员的参考书。

参加本教材审阅工作的还有胡志仁、裴秀琴、卜寿彭、吴银贵、和德林、周璞、段维和、黄汝念、杨志辉、曹忠等

同志，他们都为本书提出许多宝贵意见；在编写过程中得到了国营七一八厂、国营七一五厂等单位的大力支持，这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编者

一九九三年十二月

## 出版说明

为了适应电子科学技术飞速发展，提高电子工业技术工人素质，劳动部与原机械电子工业部于一九九三年二月颁发了《电子工业工人技术等级标准》。根据新标准，电子工业部组织有关省市电子工业主管部门和企事业单位有关人员成立了“电子整机专业”，“家用电子产品维修专业”，“真空电子器件、接插件、继电器、绝缘介质专业”，“半导体器件及集成电路专业”，“计算机专业”，“磁性材料、电池专业”，“电子元件专业”共七个工人技术培训教材编审委员会。制定了19个专业、311个工种的教学计划、教学大纲。并根据计划大纲的要求，制定了1993~1995年培训教材编审出版规划。列入规划的教材78种和相应的教学录像带若干种。

这套教材的编写是按“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的要求，以文化课为专业课服务，专业课为提高工人实际操作和分析决定生产实际问题的能力服务为原则。教材既注重了电子工业技术工人要有一定专业理论知识的要求，又克服了以往工人培训教材片面强调理论的倾向，保证了必要的知识传授，又强调了技能培训和决定生产实际问题能力的培养。

这套教材在认真研究了311个工种的共性基础知识要求的基础上，编写了八种统编教材，供311个工种工人进行基础知识培训时选用；并以19个专业为基础，根据每个专业共性的专业知识、专业技能编写了70种教材供311个工种工人进行专业知识、专业技能培训时使用。

每种教材在反映初、中、高三级技术工人培训的不同要

求的基础上，注意了基础知识、专业知识、专业技能培训的  
系统性。因此，多数教材是初、中、高三级合在一起的，更  
好地体现由浅入深、由低及高的教学规律。

在教材编写上，针对工人培训的特点，突出教材的实用  
性、针对性，力求文字简练、通俗易懂。内容上紧密结合教  
学大纲要求，在讲授理论知识的同时还注意了对生产工艺和  
操作技能的要求，使教师易于施教，工人便于理解和操作。  
知识性强的教材，每章后配有练习题和思考题，以便巩固应  
掌握的知识。技能性强的教材，配有适当的技能训练课目，  
以便提高工人操作技能。在有关工艺和设备的教材中，主要  
介绍了通用性较强的内容和典型产品、设备，对于使用这类  
教材的工人企业，由于各自的产品、设备不同可酌情自编  
相应的补充讲义与教材结合起来进行培训。另外，为适应技  
术发展、工艺改革、设备更新的需要，这套教材在编写中还  
注意了新技术、新工艺、新设备及其发展趋势，以拓宽工人  
的知识面。

参加这套教材编审工作的有北京、天津、上海、江苏、  
陕西五省市电子工业主管部门和河北、河南、山东、山西、  
辽宁、江西、四川、广东、湖南、湖北等十个省市的有关单  
位的专家、教师、技术人员等。在此谨向为此付出艰辛劳动  
的全体编审人员和各地、各单位支持这项工作的领导表示衷  
心感谢。

由于电子工业的迅速发展，这套教材的涉及面广、实用  
性强，加之编写时间仓促，教材中肯定有不妥之处，恳请使  
用单位提出宝贵意见，以便进一步修订，使之更加完善。

电子工业部

1993年7月

# 目 录

<b>第一章 电子测量与仪表概述</b> .....	( 1 )
第一节 电子测量的意义.....	( 1 )
第二节 电子元件测量的基本内容与方法.....	( 2 )
第三节 电子元件测量仪表.....	( 4 )
第四节 测量误差.....	( 6 )
第五节 测量误差的分类及原因.....	( 9 )
习题一.....	( 13 )
<b>第二章 电流与电压的测量</b> .....	( 14 )
第一节 磁电系仪表的结构与工作原理.....	( 14 )
第二节 电磁系仪表的结构与工作原理.....	( 17 )
第三节 电流与电压的测量方法.....	( 20 )
第四节 磁电系电流表与电压表.....	( 26 )
第五节 电磁系电流表与电压表.....	( 34 )
第六节 模拟电压表.....	( 36 )
第七节 数字电压表及其电压测量的发展方向.....	( 38 )
第八节 电压表与电流表的选择.....	( 47 )
习题二.....	( 50 )
<b>第三章 万用表</b> .....	( 52 )
第一节 万用表的结构与电路原理.....	( 52 )
第二节 各种电量测量原理.....	( 54 )
第三节 万用表的选择和使用.....	( 63 )
第四节 万用表的特殊应用.....	( 65 )



<b>第四章 电阻器、电位器的测量与仪表</b> .....	( 73 )
第一节 电阻器、电位器阻值测量方法.....	( 73 )
第二节 欧姆表法和伏安法测电阻.....	( 75 )
第三节 电桥法测电阻.....	( 78 )
第四节 三次平衡电桥.....	( 87 )
第五节 直流电桥主要技术特性及其使用与维护.....	( 90 )
第六节 电阻误差分选仪与切割仪.....	( 93 )
第七节 低阻误差分选仪与切割仪.....	( 94 )
第八节 中阻误差分选仪与切割仪.....	(101)
第九节 高阻误差分选仪.....	(105)
第十节 绝缘电阻测量仪.....	(110)
第十一节 手摇发电机式兆欧计.....	(111)
第十二节 稳压电源式兆欧计.....	(116)
第十三节 电阻器温度系数与电压系数测量.....	(119)
第十四节 电阻器噪声测量.....	(122)
第十五节 击穿与耐压试验.....	(138)
第十六节 电位器主要电气参数与测量.....	(144)
第十七节 电位器的直线性和符合性测量.....	(152)
习题四.....	(159)
<b>第五章 真空测量与仪表</b> .....	(162)
第一节 真空测量的基本概念.....	(162)
第二节 U型压力计和压缩式真空计.....	(166)
第三节 热传导真空计.....	(170)
第四节 热偶真空计.....	(173)
第五节 热阴极电离真空计.....	(176)
第六节 复合真空计.....	(182)
第七节 相对真空计的发展方向.....	(189)

习题五	(190)
<b>第六章 温度测量与仪表</b>	(191)
第一节 温度与温标	(191)
第二节 经验温标与国际实用温标	(194)
第三节 温度测量方法和测温仪表的分类	(198)
第四节 膨脹式温度计	(201)
第五节 热电阻与热电偶	(209)
第六节 动圈式测温仪表	(220)
第七节 数字式测温仪表	(229)
习题六	(233)
<b>第七章 敏感元件的测量与仪表</b>	(234)
第一节 敏感元件测试特点概述	(234)
第二节 光敏电阻器特性参数与测量	(235)
第三节 热敏电阻器特性参数与测量	(243)
第四节 压敏电阻器特性参数与测量	(259)
习题七	(268)
<b>第八章 电子元件测量新技术简介</b>	(269)
第一节 电子元件测量的发展动态与特点	(269)
第二节 智能化自动LCR测试仪	(271)
习题八	(283)

# 第一章 电子元件测量与仪表概述

## 第一节 电子测量的意义

测量是人类对自然界的客观事物取得数量观念的一种认识过程。在这一过程中借助专门的设备，通过实验的方法，求得以所采用的测量单位表示的未知量的大小。

在测量中，如果未知量是与国家计量部门作为基准或标准的单位相比较，加以精确测定，则这一过程便属于计量的范畴。从这个意义上说，计量是一种特殊测量形式。

电子测量是指以电子技术理论为依据，以电子测量仪器和设备为手段，对未知的电量和非电量所进行的测量。随着电子技术的不断发展，任何一种电子产品的研制和生产都需要进行大量的甚至是非常复杂的测量、数据处理、分析和归纳等工作。在电子元件的生产过程中，产品的内在质量也是通过多点测量来保证的。其测量数据就是各项技术参数的实际指标。没有统一和精确测量，产品的研制和生产几乎都是不可能的。目前，电子测量已经成为一门发展十分迅速，应用广泛，测量精度越来越高，对现代科学技术的发展起着巨大推动作用的独立学科。从某种意义上说，科学技术发展的速度在很大程度上与电子测量技术水平密切相关。同时，科学技术本身也为电子测量的进一步发展和完善创造了条件。著名科学家门捷列夫说过：“没有测量，就没有科学。”世界

发展到今天，我们可以毫不夸张地说，没有电子测量，就没有现代科学技术。

随着电子技术水平的不断提高，以及大规模数字集成电路和模拟集成电路的不断涌现，电子测量仪器也得到了进一步的改进，朝着小型化、数字化、多功能的方向发展。电子测量仪器与电子计算机技术相结合产生了崭新的智能仪器，可以组成各种自动测量系统，从而就可以对若干电参数实现自动测量、记录数据、计算误差、分出等级、剔除废品，并可直观地显示各项被测参数的分布状态，使操作者心中有“数”，及时调整和控制生产工艺过程，保证产品质量。智能仪器与生产设备相结合，就成为自动检测与控制的自动化设备。许多进口生产线，就是智能仪器与设备结合的自动化生产线。

## 第二节 电子元件测量的 基本内容与方法

### 一、电子元件参数测量的基本内容

#### 1. 电阻器参数的测量

如测量电阻器的阻值、阻值误差、电阻电流噪声指数、电阻的电压系数、电阻温度系数等。

#### 2. 电位器参数的测量

如测量终端电阻、总电阻、接触电阻、接触电阻变化和等效噪声电阻等。

#### 3. 电容器参数的测量

如测量电容量 $C$ 、损耗角正切 $\text{tg}\delta$ 等。

4. 电子元件生产过程中，需要测量的其他参量。  
如测量电压、电流、温度、真空度等。

## 二、电子元件测量方法

电子元件测量方法正确与否，直接关系到测量工作能否正常进行，测量结果是否准确可靠。所以说，如果测量方法不合理，即使是精密的测量仪器，也得不到理想的测量结果。

电子元件测量方法很多，按目前较多的分类方法，可分为直接测量、间接测量和组合测量。

### 1. 直接测量

使用预先按照已知校准定度的电子仪器对被测定值直接进行测定，从而获得数据的方法称为直接测量。例如，用电压表测电压、用电桥测电阻、用温度计测温度等。

必须注意，直接测量并不是用直读仪器进行的测量，有些比较式仪器，如电子电位差计虽然不一定能从度盘上直接获得的被测量值，但因参与测量的对象就是被测量本身，所以也是直接测量。

### 2. 间接测量

不是直接对被测量进行测量，而是对与被测量有一定函数关系的其他物理量进行测量，然后通过函数关系公式或曲线，换算出被测量值，这种测量方法称为间接测量。如测量热电偶的端电压、根据电压毫伏数与温度的关系换算出温度量值。间接测量，也可以是按被测量值直接按刻度读数，如上所述热偶温度计，但就其原理来讲，仍属间接测量。

### 3. 组合测量

将直接测量和间接测量兼用的方法，称为组合测量法。

这种方法比较繁杂，但精度高，一般用于科学试验。

## 第三节 电子元件测量仪表

### 一、按功能分类

#### 1. 专用仪器

用于精密元件测量的仪器大多为专用仪器。所谓专用，就是功能单一，专为某种元件或是某个参数测量而设计，一般还备有专门的夹具。这类仪器适合批量、快速测试，使用方便。

(1) 用于电阻、电位器专用测试仪器主要有：电阻误差分选仪、电阻切割控制仪、数字欧姆表、欧姆表、线性精度测量仪、电阻噪声测量仪等。

(2) 用于电容器专用测试仪主要有：电容误差分选仪、电容器介质损耗测量仪、LCR自动测量仪、高频电感电容测量仪等。

#### 2. 通用仪器

所谓通用仪器，指仪器的通用性较强，有较宽的使用范围。如电压表、繁用表、信号源、示波器等。

电子元件生产厂家使用的通用仪器也是较为齐全的。但就生产线上，用于电子元件参数测试的通用仪器并不多，主要有：兆欧计、介质击穿装置、繁用表、万用表、温度控制仪、真空度测量仪等。

### 二、按使用环境分类

原电子部部颁标准规定，电子测量仪器使用环境分 I

## II、III组。

I组：在良好环境中使用，只允许受轻微振动。

II组：可在一般环境中使用，允许受一般振动和冲击。

III组：可在恶劣环境中使用，允许经受较大的振动和冲击。

电子仪器使用环境条件见表1-1。

表 1-1

组别	额定使用环境范围试验						
	温 度			湿 度			
	最低 (°C)	最高 (°C)	试验时间(h)	相对湿度% (°C)	试验时间(h)		
I	+10	+55	4	80 (35)	48		
II	-10	+55	4	80 (40)	48		
III	-40	+70	4	90 (35)	48		
组别	贮存运输条件试验						
	温 度				湿 度		
	最低 (°C)	最高 (°C)	试验时间 (h)	恢复时间 (h)	相对湿度% (°C)	试验时间(h)	恢复时间(h)
	-40	55	4	4	90 (40)	48	24
	-40	55	4	4	90 (40)	48	24
	-	70	4	4	-	-	-

一般来说，在仪器使用说明书中，都详细给出了技术条件和使用环境，超出说明书中给出的技术条件或使用环境范围就不能保证或控制精度了。这一点在使用者选择仪器时要特别注意。

## 第四节 测量误差

### 一、测量误差的基本概念

我们把被测量所具有的真实值的大小称之为真值。在不同的时间和空间，被测量的真值往往是不同的。在一定的时空条件下，被测量才具有客观存在的确定数值。

用电子仪器测量所获得的数据，由于测量工具的不准确，测量方法的不科学，测量手段的不完善及测量工作中的疏忽或错误等原因，都会使测量结果与真值不同，即偏离真值，这样的偏差称为测量误差。对于不同的测量，对测量误差的大小，即对测量精度的要求往往是不同的。这完全根据测量人员的需要而确定，也就是说，当测量误差超过一定限定，测量工作和测量结果会变得毫无意义，甚至给工作造成很大危害，反过来说，无限度减小测量误差，提高测量精度，只会增加成本，降低效率而完全没有必要。

### 二、测量误差的定义

按测量误差表示方法通常分为绝对误差和相对误差两类。

#### 1. 绝对误差

绝对误差是测量仪表的指示值与被测量真值之间的差值，它可表示为

$$\Delta X = X - A_0 \quad (1-1)$$

式中： $\Delta X$ ：绝对误差；

$X$ ：被测量的给出值（指示值）；



$A_0$ : 被测量的真值。

在一定的时空条件下, 被测量的真值虽是客观存在的, 但求得真值却相当困难, 甚至是无法求得的。常以更高一级以上的仪器或与基准比对所测得的值作为实际值 $A$ 来代替 $A_0$ , 因此

$$\Delta X = X - A \quad (1-2)$$

应该指出: 高一级以上的标准仪器测出的示值也有误差, 只是 $A$ 更接近 $A_0$ , 但 $A \neq A_0$ , 我们通常所指的绝对误差就是按上式定义的。由于它是代数差形式给出误差的绝对值, 且带符号, 故称绝对误差。

例如用万用表测出的电阻 $R$ , 示值 $X = 9.8k$ , 而用精密电桥测出的实际值 $A = 10.1k$ , 那么绝对误差为

$$\Delta X = 9.8k - 10.1k = -0.3k$$

特别注意, 绝对误差是有单位, 有符号的量。

与绝对误差 $\Delta X$ 量值相等而符号相反的值, 称为修正值, 用 $C$ 表示

$$C = -\Delta X = A - X \quad (1-3)$$

修正值是用标准仪器在计量某种(或某台)仪表时实测给出的, 不一定是具体数值, 也可以是曲线、数表或公式。通过修正, 可使测量结果更准确。

例如, 用毫伏表测某信号电压其示值为:  $X = 460mV$ , 已知毫伏表在这一点修正值:  $C = -5mV$ , 则被测信号的实际值为:

$$A = 460mV - 5mV = 455mV$$

## 2. 相对误差

绝对误差的表示方法有其不足之处, 这就是往往不能确切地反映测量的准确程度。例如, 测量两只电阻, 其中一只